

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky



Fotovoltaická elektrárna 3 MWp

Photovoltaic power plant 3 MWp

Student: Tomáš Singr

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vrtek Mojmír, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Singr**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí**  
Téma: **Fotovoltaická elektrárna 3 MWp  
Photovoltaic Power Plant 3 MWp**

Zásady pro vypracování:

Ve vybrané lokalitě navrhnete fotovoltaickou elektrárnu o instalovaném výkonu 3 MWp.

Práce bude obsahovat:

1. Analýzu současného stavu a perspektivy využívání fotovoltaiky v ČR.
2. Návrh systému, způsob jeho provozování, dispoziční řešení.
3. Stanovení energetických zisků.
4. Vyhodnocení návrhu z ekonomického a environmentálního hlediska.
5. Grafickou část - schéma zapojení.

Seznam doporučené odborné literatury:


KAMINSKÝ, J.; VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.  
CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. Praha: Malina, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9.  
TURNER, W. C. *Energy Management Handbook*. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN 0-13-728098-X.  
HALAHYJA, M.; VALÁŠEK, J. a kol.. *Solárna energia a jej využitie*. Bratislava: ALFA, 1983. 304 s.  
SOLARTEC s.r.o. *Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování* [online]. Praha: Česká energetická agentura, 2006 [cit. 2011-09-30]. 64 s. Dostupný na WWW: <[www.mpo-efekt.cz/dokument/98\\_8050.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/dokument/98_8050.pdf)>.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

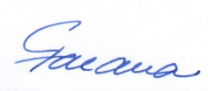
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

  
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.  
vedoucí katedry

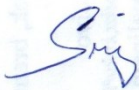


  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklad a literaturu.

V Ostravě ..... 21. května 2012 .....

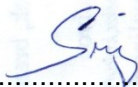


.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářský práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21. května 2012



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Singr

Adresa trvalého pobytu autora práce: Za Humny 3278, Kyjov

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

SINGR, T. *Návrh fotovoltaické elektrárny o výkonu 3 MW<sub>p</sub> : bakalářská práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2012, 48 s. Vedoucí práce: Vrtek, M.

Hlavním cílem této práce je navrhnout FV elektrárnu o požadovaném výkonu 3 MW<sub>p</sub>. Dále také zhodnotit ji jak po stránce ekonomické a tak po stránce environmentální. Především se jedná o porovnání výdělku za jednotlivé roky od roku 2006 po 2012, návratnost investice, a dále také vliv na životní prostředí, přesněji jaké množství emisí jsme touto FV elektrárnou schopni ušetřit. Seznamuje také s jednotlivými body od samotného vypracování projektu až po jeho realizaci.

## **ANOTATION OF BACHALAR THESIS**

SINGR, T. *Design of photovoltaic power plant output of 3 MW<sub>p</sub>: bachelor thesis.* Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Energy, 2012. 48 p. Thesis head: Vrtek, M.

The main objective of this work is to design a solar power plant with the desired output of 3 MW<sub>p</sub>. We also evaluate it for both the economic and environmental terms. This primarily involves the comparison of earnings for each year since 2006, after 2012, return on investment, and also impact on the environment, specifically the amount of emissions that we are able to save with this PV power plant. Also introduces the individual points from the development of the project to his realization.

## Obsah

strana

Seznam použitých značek a symbolů .....	8
Úvod .....	9
1. Energie slunce .....	10
1.1. Technické využití energie slunečního záření .....	11
2. Sluneční elektrárny .....	13
2.1. Fotovoltaické panely .....	13
2.1.1. První generace .....	14
2.1.2. Druhá generace .....	14
2.1.3. Třetí generace .....	15
2.1.4. Čtvrtá generace .....	15
2.2. Zvýšení energetický zisků .....	15
2.2.1. Oboustranné moduly .....	15
2.2.2. Natáčení za sluncem .....	16
2.2.3. Koncentrátory .....	16
3. Fotovoltaické systémy .....	17
3.1. Drobné aplikace .....	17
3.2. Systém Grid – on (systém připojený k síti) .....	17
3.3. Systém Grid – off (ostrovní systémy) .....	18
4. Současný stav v ČR .....	20
4.1. Výkupní ceny a zelené bonusy .....	20
4.2. Příklad .....	21
4.3. Největší FV elektrárny v ČR .....	22
5. Podmínky pro výstavbu FV elektrárny .....	24
5.1. Podmínky výstavby .....	24
5.2. Realizace projektu .....	27
6. Návrh FV elektrárny o výkonu 3 MW <sub>p</sub> .....	29
6.1. Celkový počet modulů .....	30

6.2.	Návrh konstrukce .....	30
6.3.	Výpočet vzdálenosti mezi řadami .....	31
6.4.	Návrh velikosti pozemku .....	32
6.5.	Volba střídače a jejich počet .....	33
7.	Stanovení energetických zisků .....	35
7.1.	Koeficient ročního využití .....	37
8.	Ekonomické a environmentální zhodnocení projektu .....	38
8.1.	Ekonomické zhodnocení .....	38
8.2.	Environmentální zhodnocení .....	39
9.	Schéma zapojení .....	41
	Závěr .....	42
	Seznam použité literatury .....	43
	Seznam obrázků, tabulek a grafů .....	44
	Seznam příloh .....	45

## **Seznam použitých značek a symbolů**

FVE	– fotovoltaická elektrárna
OZE	– obnovitelné zdroje energie
PRE	– Pražská energetika
$W_{\text{peak}}$	– výkon při standardních testovacích podmínkách
ŽP	– životní prostředí



## Úvod

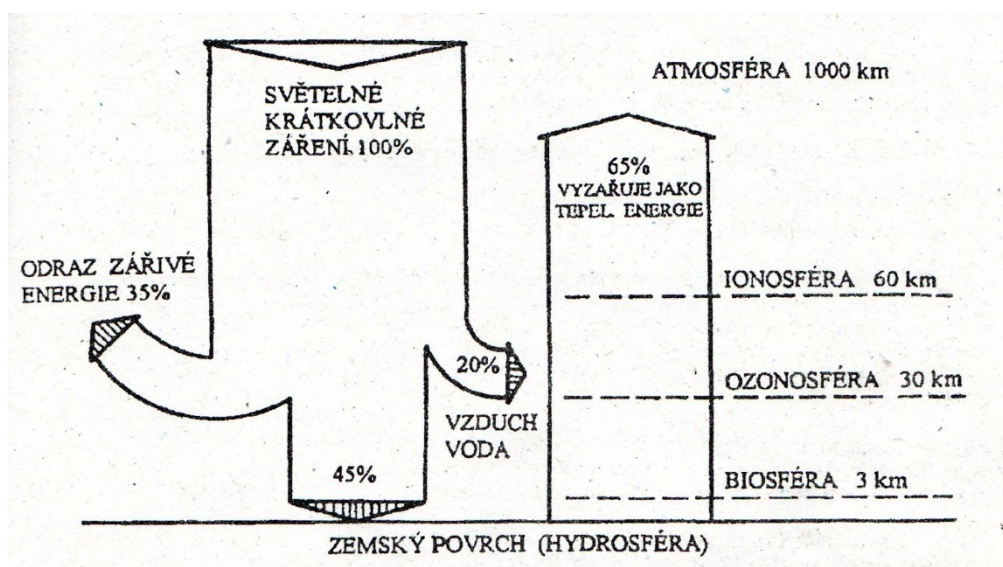
Téma fotovoltaiky jsem si vybral hlavně z toho důvodu, že jsem se sám mohl účastnit stavby jedné z našich největších FV elektráren v ČR a tak mám jistou představu o tom, jak samotná výstavba probíhá a co je k tomu potřeba. S fotovoltaickými panely se v posledních pár letech setkáváme čím dál častěji a to hlavně díky technickému rozvoji, nižší ceně a také díky vhodným podmínkám pro konstrukci těchto elektráren v ČR. Cílem této práce je seznámení se sluneční energií, kde se vlastně bere, jaké je množství a následně množství, které jsme schopni využít, dále podrobněji popisuje principy a možnosti, které tyto fotovoltaické panely nabízí a následně také jakými způsoby se dají využít, popřípadě jaké jsou možnosti pro navýšení energetického zisku a tím pádem i výkonu. Mluvíme zde o využití jak pro domácnosti, tak také využití u elektráren o výkonech v jednotkách MW. Dále také popisuje možnosti jak využít případný přebytek či nedostatek elektrické energie.

Podstatou práce je návrh FV elektrárny o zadaném výkonu, a následné zhodnocení investice a vlivu na životní prostředí. Dále bych se chtěl zmínit také o současné situaci v ČR, jaké podmínky jsou zde nastaveny a jak funguje princip výkupu této sluneční energie. Také bych se zde chtěl zabývat tím, co je potřeba zařídit před samotnou výstavbou a na co je třeba brát ohled.

## 1. Energie slunce

Slunce má tvar koule o průměru  $139,2 \cdot 10^4$  km. Slunce je složeno převážně z atomárního vodíku (70%) s příměsí helia (28%), samozřejmě se zde vyskytují i další prvky periodické soustavy, avšak v „zanedbatelném“ množství (2%). Veškeré tyto prvky se vyskytují ve formě žhavých elektricky vodivých prvků tj. ve skupenství plasmy.[2]

Zdrojem zářivé energie je Slunce a to v celém rozsahu spektra od nejmenších vlnových délek rentgenového a ultrafialového záření až po metrové délky záření rádiového. Nejčtenější je světelné a infračervené záření o vlnové délce 0,2 až 0,3  $\mu\text{m}$  (lidské oko je schopné vnímat záření v rozsahu 0,38 až 0,76  $\mu\text{m}$ ). Z celkového toku, který činí  $380 \cdot 10^6$  EW, zářivé energie dopadá na Zemi pouze jedna dvou miliardtina, což je zhruba 180 PW. Této hodnotě odpovídá měrný tok (intenzita) energie, tzv. sluneční konstanta  $I_0 = 1360 \text{ Wm}^{-2}$ .



Obr. 1.1 Tepelná bilance země [3]

Zhruba třetina, což je asi 51 PW, se bezprostředně odráží zpět do vesmíru už ve vyšších vrstvách ve formě krátkovlnného záření. Další část (81 PW) dosáhne povrchu země, změní se na teplo a odráží se jako dlouhovlnné infračervené záření ( $\lambda = 10 \mu\text{m}$ ). Na koloběh vody se spotřebuje zhruba 40 PW a podstatně menší část energie (0,36 PW) se absorbuje do vzduchu s následkem vyvolání toku větru.

Existuje bilance mezi vstupující energií a energií vystupující tzn. veškerá energie, která je předána do atmosféry je následně vyzařována zpět do vesmíru. Je nutné také zmínit skleníkový efekt, díky kterému je udržována na naší planetě teplo o zhruba 30°C vyšší, než by tomu bylo bez tohoto efektu. [3]

## 1.1. Technické využití energie slunečního záření

V dnešní moderní době je lidstvo schopno čím dál více energie využít ve svůj prospěch. Moderní technika tomu hodně napomáhá. Je zapotřebí kryt stále rostoucí spotřebu energie, jednou z možností je zachycování sluneční energie ještě ve formě fotonů a následně ji přeměnit do jiné formy energie – tepelná energie, mechanická, elektrická, chemická.

Za nejsnazší přeměnu energii slunečné záření lze považovat přeměnu na energii tepelnou. Záření je potřeba zachytit na kolektoru, které se vyskytují buď ve formě plochých panelů, nebo jako soustava plochých čoček. První variantou můžeme převést teplo o nízkém potenciálu (do 100°C) avšak se soustavou čoček se mluví už o teple s vysokým potenciálem (stovky °C, popř. až 4 000°C a více).

Další možná přeměna je na energii mechanickou, avšak zde je zatím využití menší, jelikož tlak fotonů je nepatrný. Elektrickou energii lze získat díky fotovoltaickému jevu, při kterém fotony působí na elektrony v některých tuhých látkách. Za pomoci fotochemické reakce lze také získat energii chemickou, při které se dopadající fotony pohlcují molekulami a zasahují do její struktury. U všech těchto zmiňovaných přeměn energie vzniká problém s malou plošnou koncentrací, proměnlivou intenzitou a nestejnoměrné rozložení slunečního záření.

Při průchodu paprsků atmosférou dochází ke zmenšení intenzity slunečního záření. Stává se to jednak díky odrazu paprsků o molekuly plynů a částičky prachu ve vzduchu a také díky absorpci záření víceatomovými plyny. Toto zmenšení intenzity slunečního záření nazýváme jako součinitel znečištění (Z), který je dále ovlivňován obsahem příměsí ve vzduchu a také na atmosférickém tlaku. Čím menší je hodnota součinitele, tím větší je intenzita slunečního záření.

Tento součinitel je ovlivňován jednak umístěním, součinitel na venkově je odlišný od součinitele ve městě s velkou aglomerací a těžkým průmyslem, jak můžeme vidět na Tab. 1.1, ale také se liší v nadmořských výškách, s přibývajícím výškou tento součinitel klesá. Na vrcholku nejvyšších hor se můžeme setkat s hodnotou 2. Tento součinitel nezůstává stejný pro jednotlivá místa, mění se v průběhu dne i roku a je ovlivňován počasím, vodní párou ve vzduchu nebo také exhalací.

Pokud bychom chtěli efektivně využívat sluneční záření v našich podmínkách, tak musíme najít vhodné umístění, kde součinitel znečištění dosahuje hodnoty 3.

Měsíc	Průměrné měsíční hodnoty součinitele Z pro oblasti s rozdílnou čistotou ovzduší			
	horské oblasti	venkov	města	průmyslové oblasti
I.	1,5	2,1	3,1	4,1
II.	1,6	2,2	3,2	4,3
III.	1,8	2,5	3,5	4,7
IV.	1,9	2,9	4,0	5,3
V.	2,0	3,2	4,2	5,5
VI.	2,3	3,4	4,3	5,7
VII.	2,3	3,5	4,4	5,8
VIII.	2,3	3,3	4,3	5,7
IX.	2,1	2,9	4,0	5,3
X.	1,8	2,6	3,6	4,9
XI.	1,6	2,3	3,3	4,5
XII.	1,5	2,2	3,1	4,2
<b>roční průměr</b>	<b>1,9</b>	<b>2,8</b>	<b>3,8</b>	<b>5,0</b>

Tab. 1.1 Průměrné hodnoty součinitele znečištění [1]

U slunečního záření můžeme hovořit o 2 typech záření. Prvně se jedná o záření přímé, které je v důsledku absorpce záření víceatomovými plyny a rozptylu paprsků po odrazu o molekuly plynu a prachu, jen částí toku zářivé energie. Druhým zářením je záření difuzní. Jedná se o rozptýlené světlo po odrazu o molekuly prachu a mraky. Na povrch země dopadá se stejnou vlnovou délkou jaké přímé sluneční záření. Toto záření většinou nepřevyšuje hodnotu  $100 \text{ W/m}^2$  a jeho hodnota vzrůstá se součinitelem Z. [2,4]

## 2. Sluneční elektrárny

Se slunečními elektrárnami se můžeme setkávat od roku 1982, kdy byla prvně vybudována a uvedena do provozu elektrárna v poušti poblíž Las Vegas s názvem Solar One. Její výkon byl 12 MW, na ploše 40 ha a s ročním slunečním svitem 4 000 hod. Další elektrárny jsou např. francouzská Termis, která se nachází v Pyrenejích (20 MW).

Díky změnám v intenzitě slunečního svitu v průběhu dnů a roků je nezbytně nutné myslet také na její akumulaci, bohužel akumulace slunečního záření je nemožná. Avšak můžeme využívat ty energie, které jsou pro uskladňování nejvhodnější (tepelné materiály, které jsou levné a snadno použitelné. [3]

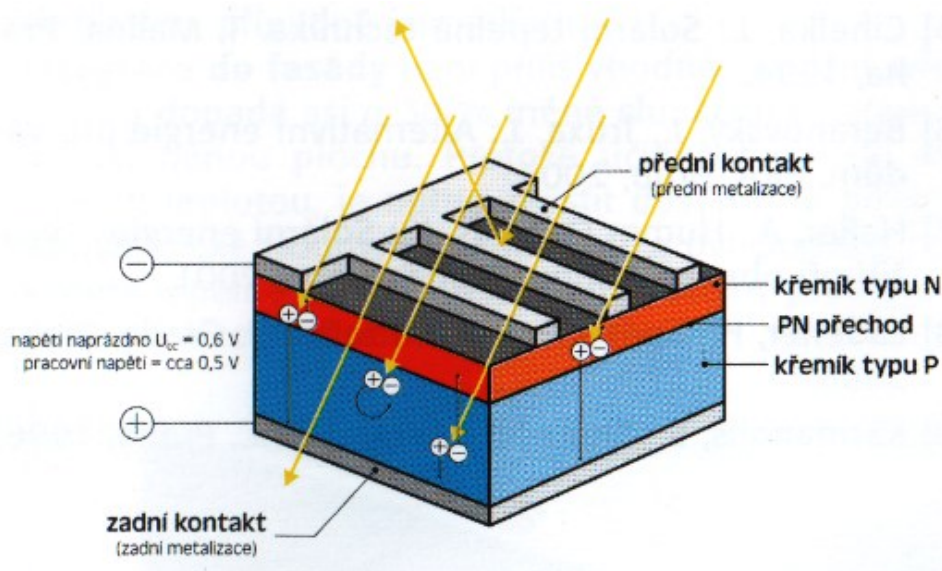
### 2.1. Fotovoltaické panely

Fotovoltaická zařízení představují velice jednoduchý a přitom elegantní způsob přeměny slunečních paprsků na elektrickou energii a to přímým způsobem. Tato zařízení pracují na principu fotoelektrického jevu. Tento článek je ve své podstatě polovodičová dioda. Jde o to, že fotony dopadají na článek a svou energií z tohoto článku „vyráží“ elektrony. Na rozhraní materiálu P a N vzniká přechodová vrstva PN, ve které je elektrické pole s vysokou intenzitou. Následně díky působení světla toto pole uvádí do pohybu volné nosiče nábojů. Následně je vzniklý elektrický proud odváděn z článků elektrody.

Abychom získali elektrickou energii právě touto fotovoltaickou přeměnou, musíme splnit níže uvedené podmínky.

- Foton musí být pohlcen.
- Foton musí posunout elektron do vyššího vodivostního pásma.
- Dvojce, která díky tomuto posunu vznikne, musí být oddělena od ostatních, aby nedošlo k dalšímu spojení.
- Oddělené náboje se musí odvést ke spotřebiči.

Se stejnými základními stavebními prvky – solární články (Obr. 2.1) – je možné realizovat aplikace s nepatrným výkonem (napájení kalkulačky) až po velké elektrárny s výkony v MW. [3]



Obr. 2.1 Princip činnosti solárního článku [13]

Samotné fotovoltaické články mají za sebou asi 50 let vývoje. V dnešní době rozlišujeme celkem 4 generace

### 2.1.1. První generace

Skládají se z destiček monokrystalického křemíku. Ve špičkových laboratorních provedení se při transformaci můžeme setkat až s účinností 25%, avšak články, které jsou běžně dostupné, pracují s účinností 14% - 17%. I přes to je v současné době stále nejpoužívanější typ a můžeme se s ním setkat také ve vesmíru pro zásobování vesmírných sond a satelitů. Jeho nevýhodou je relativně drahá výroba a to hlavně díky drahému vstupnímu materiálu – krystalicky čistý křemík. Tento typ panelů se komerčně začal prodávat již v sedmdesátých letech.

### 2.1.2. Druhá generace

Hlavním důvodem ke zhotovení panelů druhé generace bylo hlavně snížit výrobní náklady. Tyto panely jsou zhotoveny z polykrystalického, mikrokrytalického anebo amorfního křemíku. **Polykrystalické** se používají kvůli dostupnější cenové relaci. Vědci neustále pracují na zvýšení jejich účinnosti a díky hromadné výrobě naopak klesá jejich pořizovací cena. Účinnost se pohybuje mezi 13% - 16% a v laboratorních provedení je to zhruba 20%. Z osluněné plochy o rozměru  $1 \text{ m}^2$  jsme tak schopni, za standardních podmínek, získat až  $140 \text{ W}_p$ . **Amorfní** křemík se mnohdy řadí mezi materiál budoucnosti, který je možno nanášet jak na kov tak také na sklo a to v extrémně tenkých vrstvách (0,5 nm). Díky absenci mřížkové struktury nedochází ke zbytečným ztrátám a odrazům. Účinnost je ovšem 5% - 7% avšak je vyvážena nízkými výrobními náklady.

V laboratorních provedení se můžeme setkat s účinností 12%. Tyto typy panelů lze využívat i na ohebných podkladech (oblečení, fóliová střešní krytina apod.).

### 2.1.3. Třetí generace

Hlavním znakem této generace je to, že se v těchto panelech setkáváme s jinými metodami separace nábojů a často také použití jiných materiálů, než polovodičů. Setkáváme se např. s fotogalvanickými nebo polymerními články. Také se již vyskytují ve formě nanostruktur, jako uhlíkové nanotrubičky nebo nanotyčinek. Mezi hlavní výhody patří možnost cíleně ovlivňovat optické a elektrické vlastnosti. Naopak jejich nevýhoda je zatím velice nízká účinnost a také nízká stabilita vlastností a účinností.

### 2.1.4. Čtvrtá generace

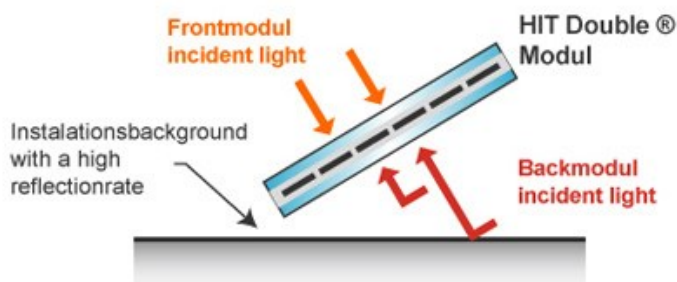
V této generaci nastává pokus o jakousi „revoluci“. Fotovoltaické články se totiž skládají z jednotlivých vrstev a díky tomu tento článek je schopen efektivně využít velké část slunečního spektra. To je způsobeno tím, že každá vrstva je schopna využívat odlišné spektrum vlnových délek. Záření, které daná vrstva nemůže využít, je propuštěno do hlubší vrstvy. Důležitou podmínkou pro dobrou funkci vícevrstevných článků je to, aby každý článek byl schopen produkovat stejný proud. [5]

## 2.2. Zvýšení energetický zisků

Při dané účinnosti fotovoltaických článků, můžeme zvýšit výnos energie třemi způsoby, které můžeme dále mezi sebou různě kombinovat. Velkou nevýhodou je, že tyto vylepšení lze pouze těžko zahrnout do budov.

### 2.2.1. Oboustranné moduly

Článek je instalován na průhlednou podložku (Obr. 2.2), díky které na něj dopadá světlo z obou stran. I když záření, které dopadá ze zadní strany, je pouze odražené anebo difuzní, uvádí se zde až 30% zvýšení produkce.



Obr. 2.2 Oboustranný modul [14]

### 2.2.2. Natáčení za sluncem

Při dopadu paprsků kolmo na článek, se zvyšuje výtěžnost asi o 35%. Dopad paprsků kolmo na článek zajišťuje dvouosý polohovací systém (Obr. 2.3), avšak instalace tohoto systému značně zasahuje do investičních nákladů. Dále je také zapotřebí pravidelné údržba a také reinvestice.



Obr. 2.3 Dvouosý polohovací systém [15]

Systém je navržen tak aby se vždy snažil najít nejvhodnější polohu (kolmá na články), pokud je obloha zatažena, většinou jsou tyto systémy nastaveny tak, aby se panely nacházeli ve vodorovné poloze a snažili se zachytit co nejvíce difuzního záření.

### 2.2.3. Koncentrátory

Pro koncentraci záření se většinou používají čočky nebo jsou to také korýtková zrcadla různého typu, dále se takové používají plochá zrcadla a to hlavně díky jejich ceně. Díky těmto koncentrátorům (Obr. 2.4) se záření získává z větší plochy a koncentruje se na daný článek. Je to samozřejmě levnější varianta, protože získáváme více energie z jednoho panelu než bez použití koncentrátorů – zrcadlo je levnější než panel. Systémy s koncentrátory většinou vyžadují aspoň jednoosý polohovací systém, aby bylo zajištěno udržení článku v ohnisku. Díky větší koncentraci záření, je také nutno použít články, které jsou schopné snést vyšší teploty. [7]



Obr. 2.4 Koncentrátor [16]



### 3. Fotovoltaické systémy

Podle účelu použití můžeme fotovoltaické systémy rozdělit do 3 skupin. Nejvíce používané jsou samozřejmě síťové systémy (např. v Německu představují zhruba 90% veškerých systémů).

#### 3.1. Drobné aplikace

Na trhu tvoří nejmenší podíl, který ale nemůžeme zanedbávat. Většina z nás se s ním již určitě setkala třeba na kalkulačkách nebo také jako dobíječky akumulátorů. Tento fotovoltaický systém zažívá „boom“, protože se zvýšila poptávka a to hlavně po zařízeních pro okamžité dobíjení akumulátorů (MP3 přehrávače, mobilní telefony, notebooky, tablety apod.) v době, kdy nelze využít dobíjení přes zásuvku (ve volné přírodě, v kempech).

#### 3.2. Systém Grid – on (systém připojený k síti)

S tímto systémem se můžeme setkat v oblastech s velkou hustotou sítí elektrických rozvodů. Spotřebiče získávají elektrickou energii z FV panelů, pokud je dostatečné množství slunečního svitu. V případě, že je dodáváno příliš velké množství vlastní elektrické energie, tak tato přebytečná energie směřuje do veřejné rozvodné sítě a stejně to funguje i opačným způsobem. V případě nedostatku energie, je zase z rozvodné veřejné sítě odebírána energie, která je nutná pro chod spotřebičů. Systém je navržen tak, aby sám rozeznal kdy je zapotřebí přijímat dodatečnou energii a kdy ne a to díky mikroprocesorovému řízení síťového střídače.

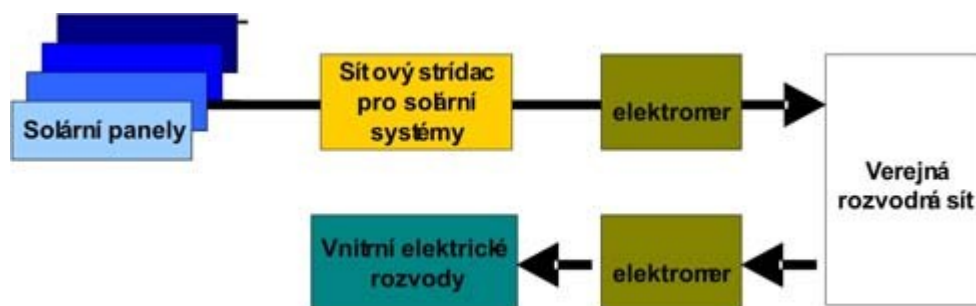
Tento systém může být také využíván čistě pro distribuci pro do veřejné sítě. V tomto případě je nutné se dohodnout s distributorem na aktuální kapacitu a také jestli vůbec bude možné připojit tyto solární výrobní elektrárny. Výkony těchto fotovoltaických systémů se měří v jednotkách od kW až po MW. Pokud jde o ceny, tak v případě větších systémů (cca nad 10 kW) ceny pohybují v rozmezí 120-180 Kč/W<sub>p</sub>, cenu dále ovlivňuje volba systému (pevné, polohovací).

Nejčastěji jsou využívány tyto systémy na střešních systémech rodinných a bytových domů, střechy administrativních budov, fasády a také fotovoltaické elektrárny na volných plochách. Výhodou tohoto systému je to, že nepotřebují dodatečné akumulátory, které jsou náročné po finanční stránce. Jako akumulátor, nekonečně velký, jim v tomto případě slouží samotná síť.

Složení systému Grid – on (Obr. 3.1):

- Fotovoltaické panely
- Měnič napětí (ze stejnosměrného napětí vyrábí střídavé)
- Kabeláž

- Elektroměr
- Dále indikační a měřící přístroje, sledovače slunce aj.



Obr. 3.1 Schéma systému Grid – on [6]

### 3.3. Systém Grid – off (ostrovní systémy)

Tento systém se na rozdíl od systému „Grid – on“ hojně využívá v oblastech, kde není k dispozici rozvodná síť a je potřeba střídavého napětí 230 V. Tyto ostrovní systémy se budují hlavně v místech, kde není vhodné vybudování elektrické přípojky a to hlavně kvůli ekonomické stránce – náklady za vybudování přípojky (vzdálenost více jak 500 m) by bylo stejné (vyšší) jako náklady spojené s výstavbou tohoto systému. Jako konkrétní příklady využití jsou hlavně odlehlé objekty – chaty, karavany, jachty, zahradní systémy, světelné reklamy apod. Setkat se s tímto systémem můžeme taky u veřejného osvětlení, dopravní signalizaci, parkovací automaty nebo taky nouzové telefonní budky u dálnic.

Systém Grid – off se dále dělí na systémy s přímým napájením, hybridní systémy a systémy s akumulací elektrické energie.

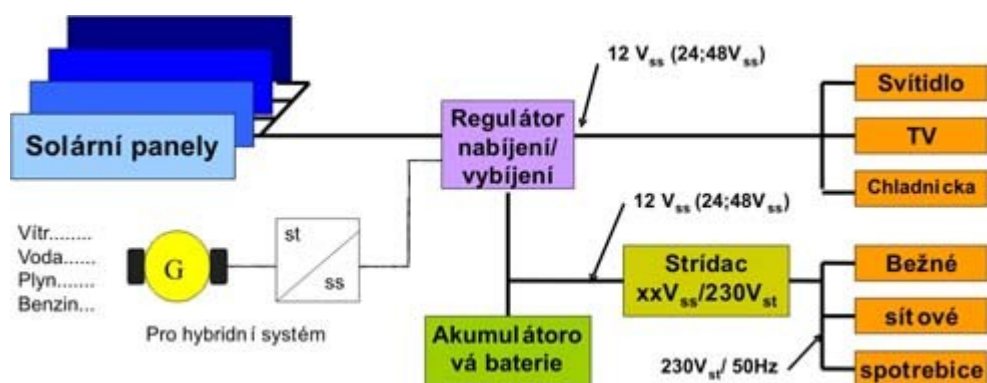
U přímého napájení jde pouze o jednoduché propojení solárního panelu a spotřebiče. Daný spotřebič pak funguje pouze v době kdy je dostatečné množství sluneční energie, jsou to např. napájení ventilátorů k odvětrání uzavřených prostor nebo také čerpání vody pro závlahu.

Hybridní systémy se používají v místech, kde je zapotřebí přísun energie po celý rok, tedy i v zimě. V zimě je samozřejmě doba denního svitu a množství sluneční energie mnohem nižší a kvůli tomu je třeba tyto systémy navrhovat i na zimní provoz, což má samozřejmě za následek větší pořizovací cenu. Kvůli tomuto zimnímu provozu jsou je většinou nutné do tohoto systému zahrnout také nějaký jiný alternativní zdroj – větrná elektrárna, malá vodní elektrárna případně kogenerační jednotka.

Poslední systém s akumulací energie se oproti síťové verzi liší pouze v tom, že má navíc solární baterii, která uchovává vyrobenou energii na dobu, která není využita, na dobu kdy není možné energii získat (v noci). Pro zajištění optimálního vybíjení a nabíjení akumulátorové baterie je zde zabudován elektronický regulátor.

Zapojení systému Grid – off (Obr. 3.2) se skládá:

- Fotovoltaické panely
- Regulátor dobíjení akumulátoru
- Akumulátor
- Měnič napětí (ze stejnosměrného napětí vyrábí střídavé)
- Dále indikační a měřící přístroje, sledovače slunce aj.



Obr. 3.2 Schéma systému Grid – off [6]

V případě připojení spotřebičů se následně klade na co nejmenší spotřebu energie. Celková spotřeba energie se následně projevuje v pořizovací ceně fotovoltaického systému. Cenu také hodně ovlivňuje volba akumulátoru. [6]

## 4. Současný stav v ČR

Ještě asi před dvěma lety, byla investice na výstavbu fotovoltaických elektráren velice výhodná. Vláda hlavně svými vysokými dotacemi podpořila velký nárůst těchto elektráren a to z důvodu splnění kvóty EU, kdy od roku 2010 měla ČR produkovat pomocí OZE 8% podíl vyrobených energií. Vše to začalo v roce 2006, kdy Česká republika nastavila výkupní ceny úplně jinak, než tomu bylo např. Německu. V této době se neřešil rozdíl mezi velkými FV elektrárnami na zemi a FV systémy na střechách domů. Vláda začala tento problém řešit, ale podařilo se to až na konci roku 2010, kdy výkupní ceny razantně klesly. Současně s tímto problémem se také začal řešit tzv. stop stav. Ve výsledku velké FV elektrárny o výkonu nad 30 kW nebyli podporovány a žádosti na jejich výstavbu byly zamítnuty. Toto omezení se nakonec ukázalo jako zbytečné, protože většina žadatelů, kteří věděli, že nestihnou FV elektrárnu vybudovat do konce roku 2010, svou žádost zrušila. [8]

Nadále ovšem platil stop stav a byl zde problém i s připojením menších zdrojů do 30 kW. V současné době byl stop stav zrušen, avšak v praxi to vypadá trochu jinak. Pokud jste zapojeni do sítě PRE tak s žádostí nebudete mít problém, obecně platí, že tato síť je nejméně obsazena. Pokud ale elektřinu odebíráte od odběratelů jako je ČEZ a nebo e-ON, budete mít se žádostí znatelnější problém oproti PRE. Tyto žádosti budou posuzovány individuálně.[9]

V současné době systém výkupních cen a tzv. zelených bonusů, funguje následujícím způsobem. „Vyhláška č.475/2005 a její novelizace Vyhláška č. 364/2007 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání OZE. Přináší změnu indikativních hodnot technických a ekonomických parametrů, především ve smyslu předpokládané životnosti fotovoltaické elektrárny, která se z původních 15 let zvyšuje na 20 let.“ [10]

### 4.1. Výkupní ceny a zelené bonusy

#### Princip výkupních cen

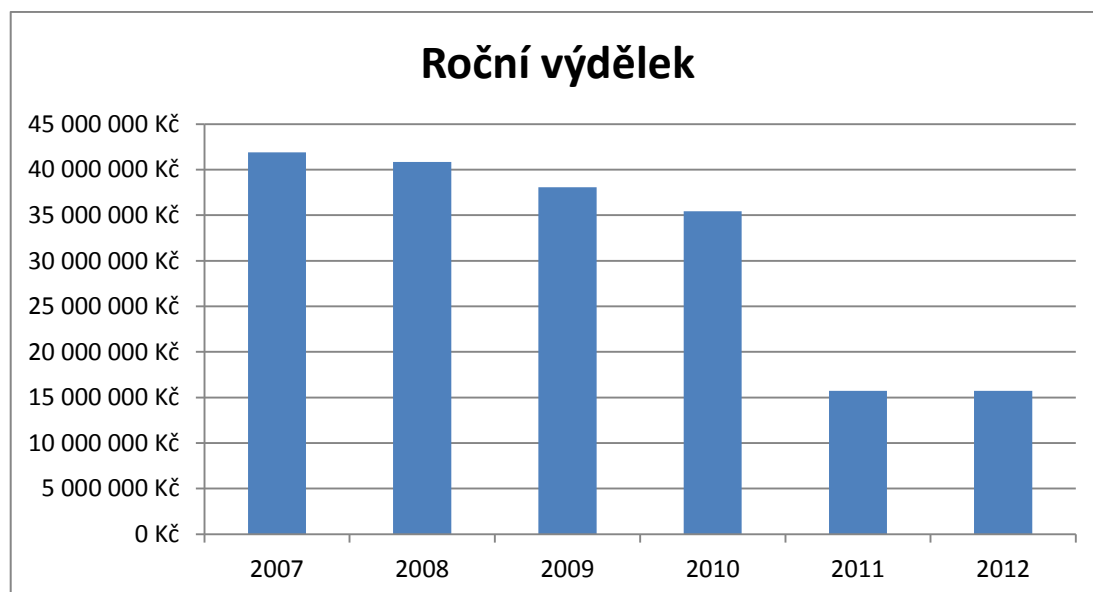
„Ze zákona č. 180/05 Sb vyplývá povinnost pro provozovatele ať už přenosové nebo distribuční soustavy připojit systém do přenosové soustavy a veškerou vyrobenou elektřinu, na kterou se vztahuje podpora vykoupit. Výkup probíhá za cenu určenou pro daný rok Energetickým regulačním úřadem (viz Cenové rozhodnutí) a tato cena bude vyplácena jako minimální (navyšuje se o index PPI -Cenový index průmyslové výroby = čili „průmyslová inflace“) po dobu následujících dvaceti let (investor je povinen podávat hlášení o naměřené výrobě v půlročních intervalech).“ [11]

## Princip zelených bonusů

Druhou formou podpory je tzv. zelený bonus. Principem tohoto zeleného bonusu je to, že většinu vyrobené elektrické energie sami spotřebováváme. Množství energie, které nejsme schopni využít, se prodává distributorovi. V tomto případě si musíme sami vyhledat obchodníka, kterému přebytečnou elektrickou energii prodáme. Zelený bonus je o něco menší než klasická výkupní cena, avšak to se nám vrací na tom, že šetříme na vlastní spotřebě. V případě, že FV elektrárna nám nevyrábí dostatek elektrické energie, tak tuto energii získáváme normálním způsobem ze sítě distributora. [11]

### 4.2. Příklad

Byla postavena FV elektrárna, která ročně vyrobí 2800 MWh elektrické energie. Celková investice byla 190 mil. Kč. Na následujících grafech můžeme vidět roční výdělky s různou výkupní cenou v jednotlivých letech a také návratnost.



Graf 4.1 Roční výdělek

Podle grafu (Graf 4.1) můžeme vidět, jak moc v minulých letech byla výhodná výstavba FV elektrárny. Také zde můžeme uvést příklad z praxe. Největší FV elektrárna v ČR, FVE Ralsko Ra 1, kterou financoval ČEZ, byla dokončena pouhé 2 dny před koncem roku 2010. ČEZ tak zachránil příjmy, které jdou výše miliard a také si touto elektrárnou zajistil první příčku mezi FV elektrárnami v ČR.

### 4.3. Největší FV elektrárny v ČR

V tabulce Tab. 4.1 je vypsáno 10 největších FV elektráren v ČR, a také můžeme vidět, že naprostá většina byla dokončena v roce 2010 a to z důvodu již zmiňovaných výhodných podmínek.

Rád bych zde zmínil FVE Mimoň Ra 3, kde jsem se osobně podílel na výstavbě této elektrárny. Na obrázku Obr. 4.1 můžeme vidět, že zde byla použita jednořadá konstrukce a také v pozadí obrázku můžeme vidět techniku, která právě zatlouká do země základovou část konstrukce. Na dalším obrázku Obr. 4.2 vidíme, že zde byly použity monokrystalické moduly (poznáme je hlavně díky sytě černé barvě – amorfní silikon).

Název	Úmístění	Instalovaný výkon [MW]	Spuštění
FVE Ralsko Ra 1	Ralsko	38,3	2010
FVE Vepřek	Nová Ves - Vepřek	35,1	2010
FVE Ševetín	Ševetín	29,9	2010
FVE Mimoň Ra 3	Mimoň	17,5	2010
FVE Vranovská Ves	Vranovská ves	16,0	2010
FVE Stříbro	Stříbro	13,6	2009
FVE ŽV - SUN	Chomutov	13,0	2010
FVE Uherský Brod	Uherský Brod	10,2	2010
FVE Sulkov	Líně	10,0	2010
FVE Chrudichromy	Chrudichromy	10,0	2010

Tab. 4.1 Největší FV elektrárny v ČR [17]





**Obr. 4.1 FVE Mimoň Ra 3**



**Obr. 4.2 FVE Mimoň Ra 3**

## **5. Podmínky pro výstavbu FV elektrárny**

Základem pro výběr lokality pro fotovoltaické zařízení je vyhodnocení klimatických diagramů, ze kterých se dá vyčíst počet slunečných hodin za den a také teplota, kterou můžeme v dané lokalitě očekávat. Počet slunečných hodin za den by měl činit zhruba 1000 kWh/rok.

Při výběru je také velice důležitý tvar pozemku. Pokud zvolíme podlouhlý tvar, tak budeme potřebovat větší množství materiálu (výkopové práce na kabeláž, větší délky kabelu a také větší průřez kabelu). Pokud naopak zvolíme čtvercový tvar, můžeme počítat s kratší cestou vedení proudu.

### **5.1. Podmínky výstavby**

Poté, co nalezneme vhodný pozemek, je potřeba dále vyřešit níže zmíněné body:

#### **1) Vyčištění daného místa**

Tento bod je rozhodující pro náklady na uvolnění daného místa. Pokud se zde nachází nějaké základy, domy anebo porost, vše se musí odstranit těžkou technikou a následně zlikvidovat. K tomu je také potřeba doklad o likvidaci, abychom zabránili nezákonné likvidaci odpadu.

#### **2) Půdní třída v dané oblasti**

Druh půdy je velice důležitý při výběru spodní konstrukce. Půdní třída, která nese označení č. 1, značí lehké půdy bohaté na humus. Naproti tomu č. 7 je masivní skalní hornina. Za použití lehké techniky můžeme pracovat s půdou do třídy č. 4, včetně. Na třídy č. 5 a 6 se již používají vrty, které mají samozřejmě za následek zvýšení nákladů (orientační cena jednoho vrtu se pohybuje okolo 110 €, v závislosti na oblasti). Pro poslední třídu již není možný hloubkový základ, a proto jsou zapotřebí základy povrchové, což je samozřejmě nejdražší varianta s ohledem jak na čas, tak také na práci.

#### **3) Jižní linie**

Pokud zvolený terén vykazuje negativní polohu směrem na jih, musí se s ohledem na tvorbu stínu zvolit velmi vysoká spodní konstrukce. V jiných případech je také možno volit větší vzdálenosti mezi řadami, což je samozřejmě problém, protože nám ubude místo na daném pozemku pro zařízení. Když terén vykazuje extrémní výškové rozdíly, je třeba terén zarovnat anebo zcela srovnat.



#### 4) Zástavba na pozemcích okolo FV elektrárny

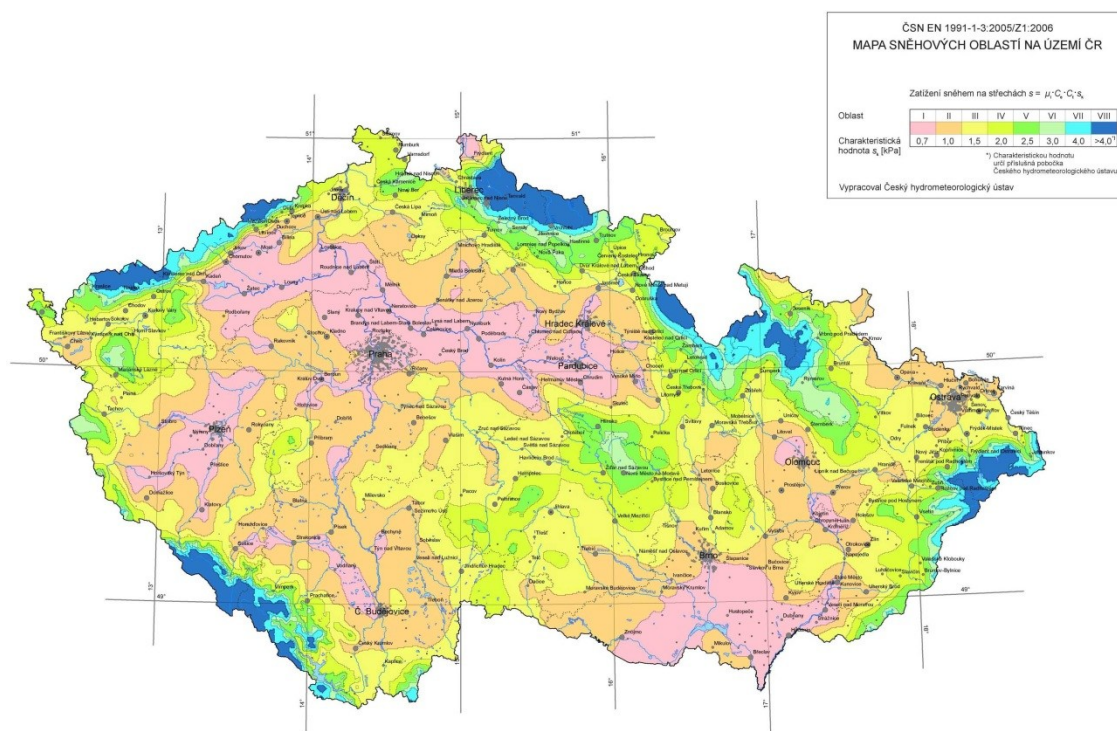
Jestliže se v blízkosti FV elektrárny nachází listnaté stromy nebo také zemědělská pole, bude docházet ke zvýšenému znečištění modulů listí a prachem. Zda-li jsou v blízkosti také dráty vysokého napětí, musí se vzít na vědomí, že může docházet k vytváření magnetického pole (přehřátí střídačů napětí a transformátorů).

#### 5) Příjezdové cesty

Pozemek musí být sjízdný po celou dobu výstavby jak osobními, tak nákladními auty, protože se touto cestou na staveniště dostává veškerý materiál a taky pracovníci. Dále je také nutno na stavbu přivést transformátory a další zařízení, kde kvůli jejich velikosti (2x3m popř. 4x6m) a také hmotnosti (15-40t) je potřeba tyto cesty dimenzovat do 50t s šířkou kolem 6m. Také je nutno počítat s tím, že je potřeba zajistit dodání nákladu v různých klimatických podmínkách (déšť, sníh).

#### 6) Zóny zatížené větrem a sněhem

Pro každou oblast existují tabulky sněhového (Obr. 5.1) a větrného zatížení (Obr. 5.2). Toto jsou rozhodující faktory pro výběr spodní konstrukce a také pro vzdálenost spodní hrany modulu od terénu. Zóny sněhových zatížení se dělí do 3 zón. V zóně č. 1 se výška modulu určuje bez nějakých omezení. Zóna č. 2 je již omezena, při konstrukci 4 modulů nad sebou, musí být vzdálenost od země min. 80 cm, u konstrukce 2 modulů nad sebou je to min. 60 cm od země. V zóně č. 3 se instalují pouze 2 moduly nad sebe a v tomto případě min. 80 cm od země.

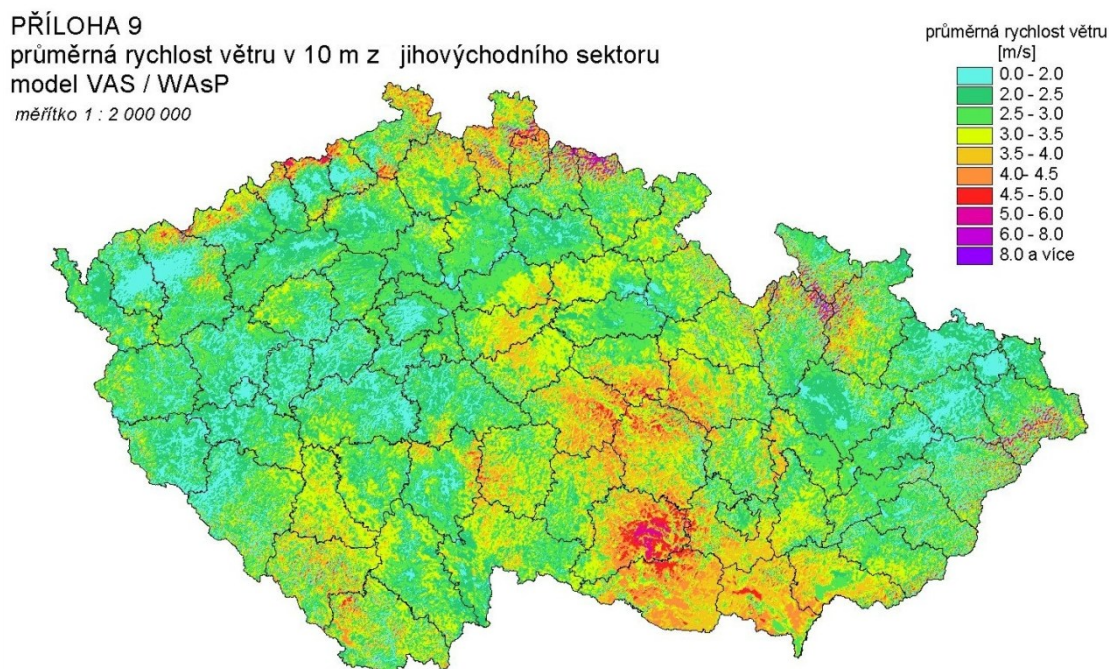


Obr. 5.1 Zatížení sněhem v ČR [18]

Na obrázku Obr. 5.1 můžeme vidět, jak se liší hodnoty zatížení na různých místech v ČR. Růžová místa jsou zatížena nejmenší hodnotou a modrá místa zase největší, tyto hodnoty se uvádí v kPa. V příloze č.3 můžeme vidět, jaký vliv, může mít sníh na samotnou konstrukci panelu, jedná se o snímek z Itálie, kde v letošní zimě napadlo velké množství sněhu a poškodilo tak celou konstrukci.

Všechny tyto opatření jsou prováděna kvůli tomu, aby mohl tající sníh po modulech zcela sklouznout, a také se nesmí před nimi kupit do hromad, které by dosahovali až na stůl, protože by sníh zastínil články modulu a samozřejmě by se tím snížil výkon daného modulu.

Zóny zatížení větrem udávají sílu očekávaného větru, který bude na modulu působit. To je důležité pro statiku spodních konstrukcí a celého zařízení.



Obr. 5.2 Zatížení ČR větrem [19]

## 7) Stavební žádost na úřadech a podmínky

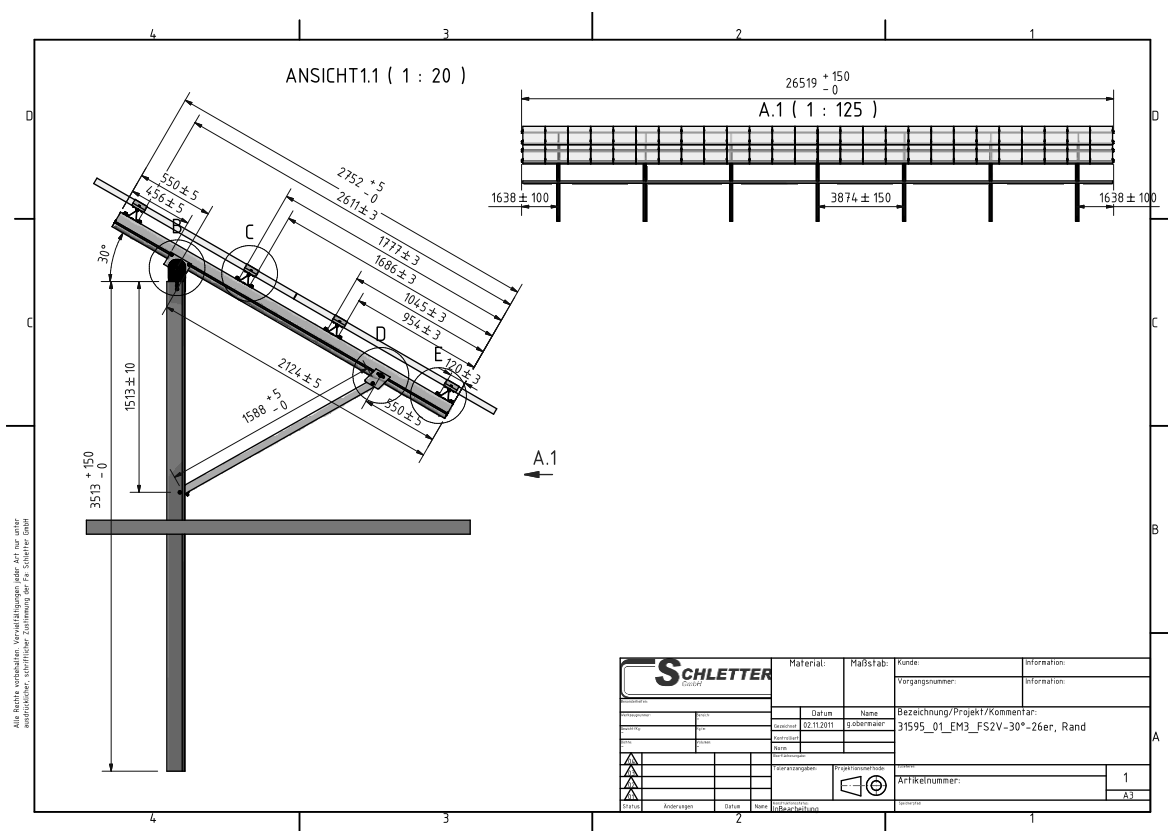
Tak jako pro každou stavební činnost tak i zde je nutno podat na místním úřadě žádost o zahájení stavby, společně také s návrhem pro změnu pohledu krajiny a využití. K tomu všemu je samozřejmě zapotřebí podat všechny výkresy spodní konstrukce, modulů, transformátorů, plotů, bran, ochranných opatření anebo také návrhy na zřízení cest, toků, chodníků, rybníků a také třeba snížení budov. Příslušným úřadem může být také stanoveno, jak má být krajina podle stavebního opatření osázena.

## 5.2. Realizace projektu

Po zvážení všech těchto bodů a podmínek nám vyplyne cena za 1 kW<sub>p</sub> a následně cena celé FV elektrárny. Financování je zajišťováno buď přímými prodejci (poskytovatelé energie), energetické fondy (banky) anebo se také ve vzácnějších případech můžeme setkat se soukromými investory. Ve všech těchto případech je však podkladem financování výpočet energetické účinnosti. Na základě tohoto výpočtu se dále také dá odvodit, kdy dané zařízení bude ziskové. Do toho je samozřejmě nutno započítat výkupní cenu na kW pro daný rok, kdy bylo FV elektrárna dokončena.

Po schválení stavebního povolení, smlouvě s poskytovatelem energie a zajištění financování, začínají samotné práce na staveništi.

V první řadě je nutné zajistit geologický posudek, se sondážemi a ultrazvukem se určit půdní třída. Po vyhodnocení těchto dat probíhá zkušební zatloukání. To se provádí na různých místech staveniště a zatlučká se kovová konstrukce (dle předpisu výrobce pro hloubku zatlučení základové konstrukce). Současně jsou využívány jeřábové váhy, na kterých můžeme vyčíst tažné síly. Po provedení těchto zkoušek je potřeba rozhodnout o typu spodní konstrukce. Ve své podstatě existují 2 druhy spodních konstrukcí – jednořadá a dvouřadá.



### Obr. 5.3 Jednořadá konstrukce

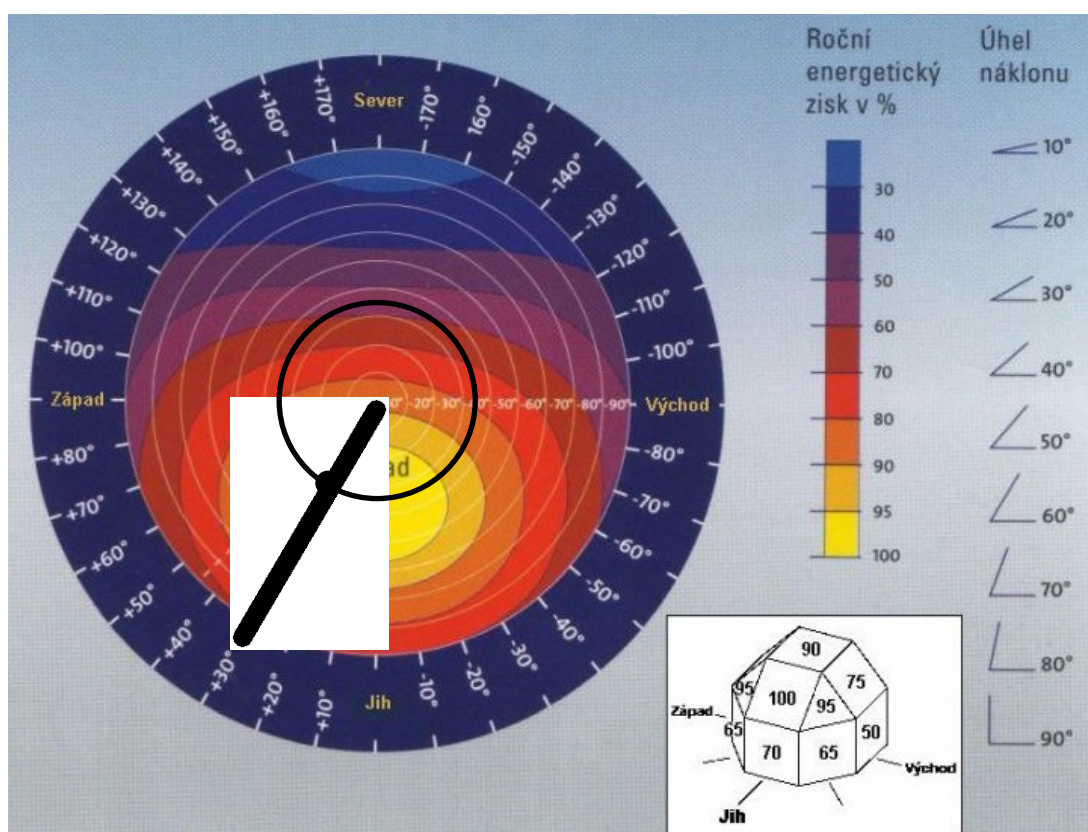
Dvouřadý systém (Obr. 5.4) má dvě řady základových konstrukcí, přičemž oproti jednořadé konstrukci je základna podstatně menší. Nevýhodou tohoto systému je samozřejmě údržba terénu pod konstrukcí. Proto jsou tyto systémy vhodné pro oblasti s malým porostem, se kterými se můžeme setkat především v jižní Evropě, ale také pro oblasti s porostem, který je určen pro spásání. U spásání je potřeba dbát na to, aby vzdálenost od země byla min. 100-120 cm, protože jinak zvířata lezou na moduly a kabely musí být vedeny v ochranné trubce, protože zvířata jsou schopna vyhrabávat půdu u základových konstrukcí a okusují kabely.





## 6. Návrh FV elektrárny o výkonu 3 MW<sub>p</sub>

Nejdůležitějším faktorem pro výstavbu FV elektrárny je určitě její orientace. S orientací také souvisí sklon samotných panelů. Jde o to, aby bylo zajištěno co největší množství energie, které dopadne na m<sup>2</sup>. To lze určit pomocí Obr. 6.1, na kterém můžeme vidět, že nejvhodnější je FV elektrárnu stavět na jižní stranu (možný posun asi o 30° jak na východ tak také na západ, nám stále zajistí 100% energetický zisk). Dále s touto orientací také souvisí již zmiňovaný sklon panelu. Nejvhodnější je asi v rozmezí 20° až 50°. Nejčastěji se volí sklon panelů 30° až 35°.



Obr. 6.1 Závislost energetického zisku na orientaci a náklonu FV modulů [20]

Pro moji FV elektrárnu volím orientaci na jih, s odklonem 30° směrem na západ a sklon panelů bude 35°.

Dále je potřeba si zvolit typ FV panelů. Na trhu je velké množství výrobců a druhů panelů, mezi kterými můžeme vybírat. Já jsem se rozhodl pro panel od německé firmy Sovello, typ L – series 230. Již v samotném názvu panelu můžeme zjistit výkon tohoto panelu – 230 W. Tato hodnota je určována ve standardních testovacích podmínkách. Zde je již také nutné zmínit samozřejmě cenu panelu. Cena FV panelů je většinou řešena až na konkrétním návrhu FV elektrárny, kdy se rozhoduje v závislosti na velikosti FV elektrárny. Ve spolupráci s nejmenovanou Německou firmou, která má již letité zkušenosti

s výstavbou FV elektráren, jsem zjistil, že na elektrárnu o výkonu 3 MW by se cena mohla pohybovat okolo 291,2 € za modul, což je asi 7 200 Kč za modul.

### 6.1. Celkový počet modulů

Nyní si můžeme vypočíst celkový počet modulů, který budeme potřebovat na FV elektrárnu. Vyjdeme z jednoduchého vzorce:

$$N_C = \frac{P_{ele}}{P_{mod}}$$

$$N_C = \frac{3\,000}{0,230}$$

$$N_C = 13\,043,5 \rightarrow 13\,044.$$

$N_C$  – celkový počet modulů

$P_{ele}$  – výkon elektrárny

$P_{mod}$  – výkon jednoho modulu

Celkový počet modulů je teda 13 044, ale samozřejmě je potřeba počítat s tím, že při manipulaci s panely může dojít k jejich poškození a tak je třeba objednávat i nějaké moduly navíc.

### 6.2. Návrh konstrukce

V tomto případě volím jednořadý typ konstrukce (Obr. 5.3), který je vhodný na místní podmínky tzn. hlavně kvůli úpravě terénu pod konstrukcí. Na této konstrukci budou nad sebou 2 moduly a výška nad terénem je stanovena na 50 cm. Následně si vypočteme celkovou výšku konstrukce, abychom mohli určit další parametry. Vycházíme z hodnot, které jsou dané výrobcem – příloha.

$$h = \sin U_s \cdot l$$

$$h = \sin 35^\circ \cdot 1\,817$$

$$h = 1\,042\,mm$$

$h$  – výška jednoho modulu pod úhlem  $35^\circ$  [mm]

$l$  – délka modulu udávaná výrobcem [mm]

$U_s$  – úhel sklonu panelů

Tímto výpočtem jsem si určil výšku jednoho modulu. Jelikož budou dva nad sebou, celková výška bude 2 084 mm a k tomu je ještě potřeba přičíst výšku nad terénem, 500 mm. Celková výška konstrukce tedy činí 2 584 mm.

### 6.3. Výpočet vzdálenosti mezi řadami

Vzdálenost mezi řadami je velice důležitá a to z důvodu tvorby stínu (Obr. 6.2). V případě že by byly řady příliš blízko sebe, vznikl by zde stín, který by způsobil zastínění modulů a také snížení výkonu FV elektrárny. Ve většině případů se proto počítá se dnem kdy je slunce nejnižší a to je zimní slunovrat. Slunce svírá se zemí úhel asi 16,5° a při výpočtu také vycházíme z výšky celé konstrukce.

$$a_s = \frac{h}{\tan 16,5^\circ}$$

$$a_s = \frac{2\,584}{\tan 16,5^\circ}$$

$$a_s = \mathbf{8\,723\,mm}$$

Od toho čísla můžeme ještě odečíst vzdálenost, kterou získáme tím, že moduly jsou ve výšce 50 cm nad terénem.

$$a_p = \frac{h_t}{\tan 16,5^\circ}$$

$$a_p = \frac{500}{\tan 16,5^\circ}$$

$$a_p = \mathbf{1\,688\,mm}$$

$$a = a_s - a_p$$

$$a = 8\,723 - 1\,688$$

$$a = \mathbf{7\,035\,mm}$$

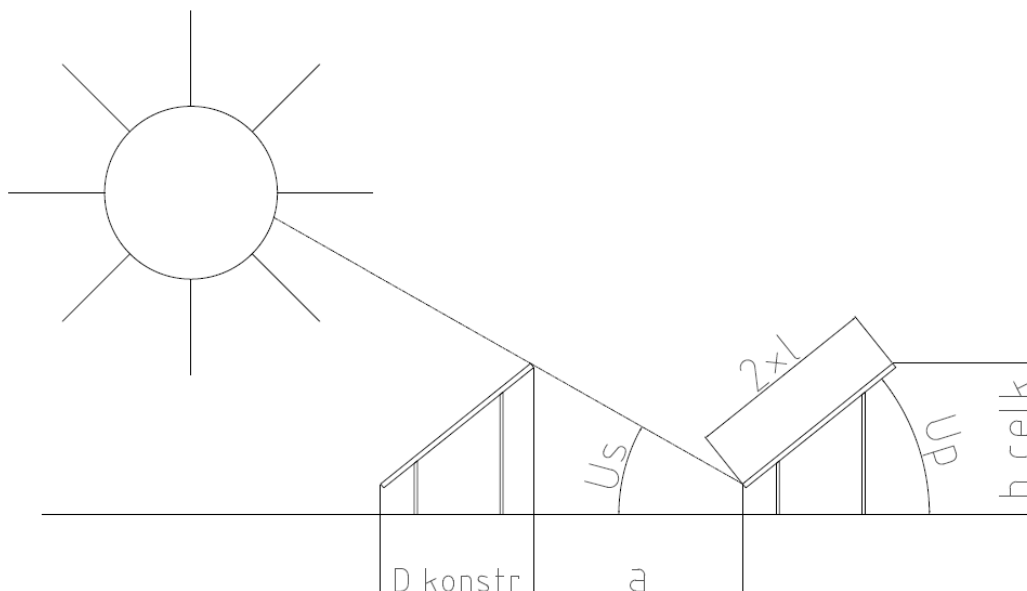
*a – celková délka [mm]*

*a<sub>s</sub> – délka stínu [mm]*

*a<sub>p</sub> – délka posunu [mm]*

*h<sub>t</sub> – výška nad terénem [mm]*

Celková vzdálenost, při které nebude dopadat stín na moduly je 7 035 mm. Stále je to ale orientační hodnota, protože slunce má tuto nejnižší polohu pouze jednou za rok. Někdy také máme přesně danou velikost pozemku, kterou nemůžeme překročit a tak je potřeba tuto vzdálenost mezi řadami zmenšit.



Obr. 6.2 Zastínění dalších řad FV elektrárny

#### 6.4. Návrh velikosti pozemku

Šířku pozemku si stanovíme na zhruba na 120 m. V této šířce je zahrnuta 8 m široká cesta a místo pro 100 panelů a jelikož jsou vždy 2 nad sebou tak je to 200 panelů v jedné řadě. Nyní si spočteme délku jedné řady a přičteme k ní vzdálenost mezi řadami. Abychom zjistili celkovou délku pozemku, kterou budeme k výstavbě potřebovat.

$$D_{konstr} = (l \cdot \cos 35^\circ) \cdot 2$$

$$D_{konstr} = (1\,817 \cdot \cos 35^\circ) \cdot 2$$

$$D_{konstr} = 2\,977 \text{ mm}$$

Tuto hodnotu zaokrouhlíme na 3 m a přičteme k ní mezeru mezi řadami (tu zaokrouhlíme na 7 m) a získáme délku jedné řady.

$$D_{řady} = 10 \text{ m}$$

Pokud na jednu řadu potřebujeme 200 panelů, počet řad získáme tak, že celkový počet modulů vydělíme počtem modulů, potřebných na jednu řadu.

$$N_{řad} = \frac{N_C}{N_1}$$



$$N_{řad} = \frac{13\,044}{200}$$

$$N_{řad} = 65,22 \rightarrow 66 \text{ řad}$$

Pokud tedy potřebujeme na jednu řadu 10 m, tak tedy jen vynásobíme počet řad s touto mezerou.

$$D_{celk} = N_{řad} \cdot D_{řady}$$

$$D_{celk} = 66 \cdot 10$$

$$D_{celk} = 660 \text{ m}$$

Rozměry pozemku tedy jsou 120 x 660 m. Na výstavbu FV elektrárny je potřeba **79 000 m<sup>2</sup>**. Tímto výpočtem jsme zjistili, že na výrobu 1 kW<sub>p</sub> je potřeba asi 26 m<sup>2</sup>.

*D<sub>řad</sub> – délka jedné řady i s mezerou*

*D<sub>celk</sub> – celková délka pozemku*

*N<sub>řad</sub> – počet řad*

## 6.5. Volba střídače a jejich počet

Vždy je důležité, aby byla zajištěna optimální souhra mezi střídačem napětí a modulem, abychom dosáhli co nejlepších účinností zařízení. V tomto případě volím střídač napětí Danfoss TLX 15k Obr. 6.3, který nám dá výkon 15 000 W na straně střídavého napětí. Na každý tento střídač lze zapojit 70 panelů, čímž dosáhneme výkonu 16 100 W. Celkový počet střídačů zjistíme podílem celkového počtu panelů počtem panelů, potřebných na jeden střídač.

$$S_{celk} = \frac{N_c}{S_{70}}$$

$$S_{celk} = \frac{13\,044}{70}$$

$$S_{celk} = 186,3 \rightarrow 187 \text{ střídačů}$$

*S<sub>celk</sub> – celkový počet střídačů*

*S<sub>70</sub> – počet panelů na jeden střídač*



**Obr. 6.3 Střídač napětí Danfoss TLX 15k**

## 7. Stanovení energetických zisků

Na stavení energetických zisků jsem použil Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps [12]. Je to projekt, který byl vytvořen v rámci EU, a usnadňuje orientační produkci plánované FV elektrárny. Je zde nutno zadat údaje o instalovaném výkonu dané FV elektrárny, použitou technologii FV panelů, ztráty systému. Dále samozřejmě sklon panelů a také orientaci FV elektrárny. Důležitým faktorem je výběr lokace, dle kterého se určuje množství energie dopadající na  $\text{m}^2$  a tedy důležitý pro celkové určení energetických zisků. Výsledkem je tabulka energetických zisků (Tab. 7.1) a následné vynesení těchto hodnot do grafů - Graf 7.1, Graf 7.2.

	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
<b>Měsíc</b>	kWh	kWh	$\text{kWh/m}^2$	$\text{kWh/m}^2$
Leden	3 040,00	94 200,00	1,19	36,90
Únor	5 010,00	140 000,00	2,00	56,00
Březen	7 500,00	233 000,00	3,10	96,00
Duben	9 950,00	299 000,00	4,29	129,00
Květen	11 400,00	355 000,00	5,08	157,00
Červen	11 500,00	344 000,00	5,15	154,00
Červenec	12 000,00	372 000,00	5,42	168,00
Srpen	10 700,00	331 000,00	4,81	149,00
Září	8 490,00	255 000,00	3,71	111,00
Říjen	6 540,00	203 000,00	2,75	85,20
Listopad	3 190,00	95 600,00	1,29	38,70
Prosinec	2 100,00	65 100,00	0,83	25,60
<b>Roční průměr</b>	<b>7 630,00</b>	<b>232 000,00</b>	<b>3,31</b>	<b>101,00</b>
<b>Celkem za rok</b>	<b>2 790 000,00</b>		<b>1 210,00</b>	

Tab. 7.1 Energetický zisk za jednotlivé měsíce

$E_d$  – průměrná denní produkce [kWh]

$E_m$  – průměrná měsíční produkce [kWh]

$H_d$  – průměrná denní hodnota energie dopadající na  $\text{m}^2$  [ $\text{kWh/m}^2$ ]

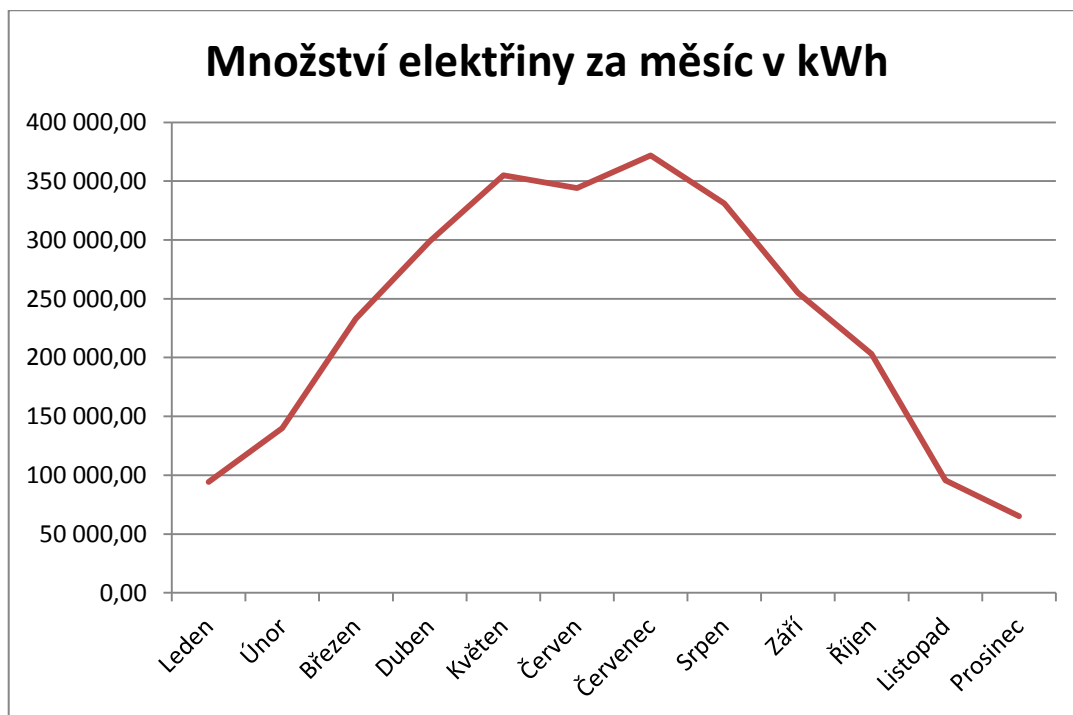
$H_m$  – průměrná měsíční hodnota energie dopadající na  $\text{m}^2$  [ $\text{kWh/m}^2$ ]

Odhadovaná ztráta v důsledku teploty: 8.1%

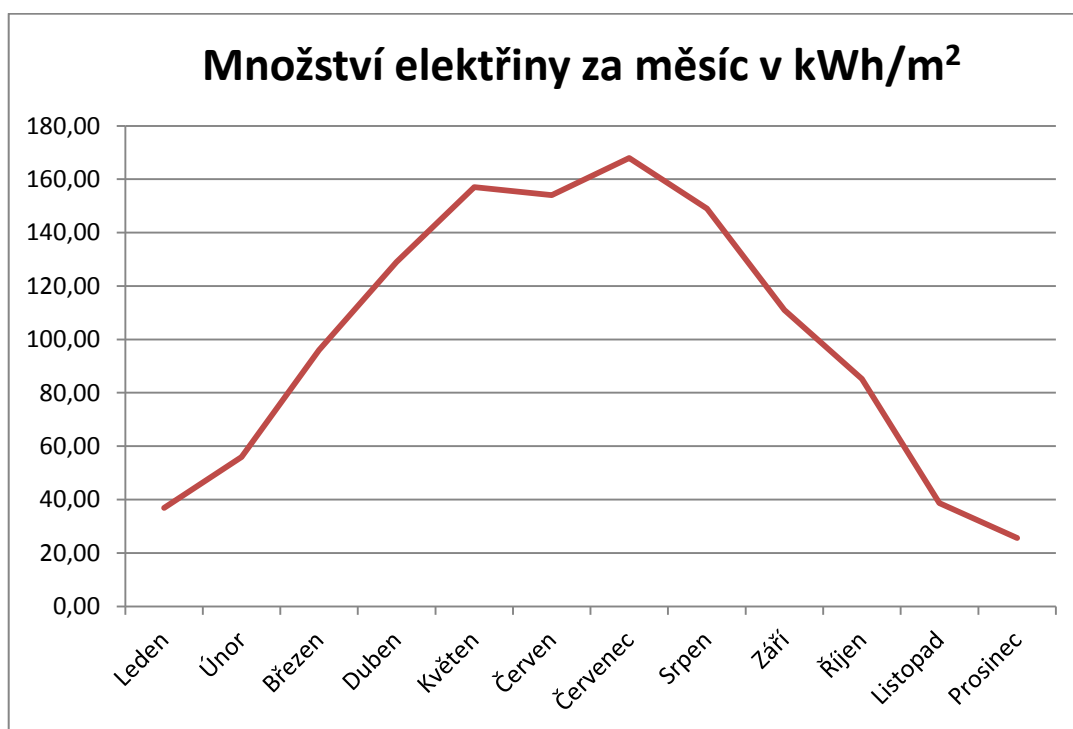
Odhadovaná ztráta vzhledem k odrazivosti: 3.0%

Ostatní ztráty (kabely, střídače, atd.): 13.5%

Kombinované ztráty systému: 22.6%



**Graf 7.1 Množství elektřiny v kWh za měsíc**



**Graf 7.2 Množství elektřiny v kWh/m<sup>2</sup> za měsíc**

### 7.1. Koeficient ročního využití

Tento koeficient je také jedním z ukazatelů efektivity energetického zdroje. Určuje nám, jak moc je v průběhu roku využíván instalovaný výkon energetického zdroje.

$$k_r = \frac{W_r}{P_i \cdot h}$$

$$k_r = \frac{2\,790\,000}{3\,000 \cdot 8\,760}$$

$$k_r = 0,106 \rightarrow 10,6 \%$$

$k_r$  – koeficient ročního využití

$W_r$  – množství vyrobené energie [kWh/rok]

$P_i$  – instalovaný výkon [kW]

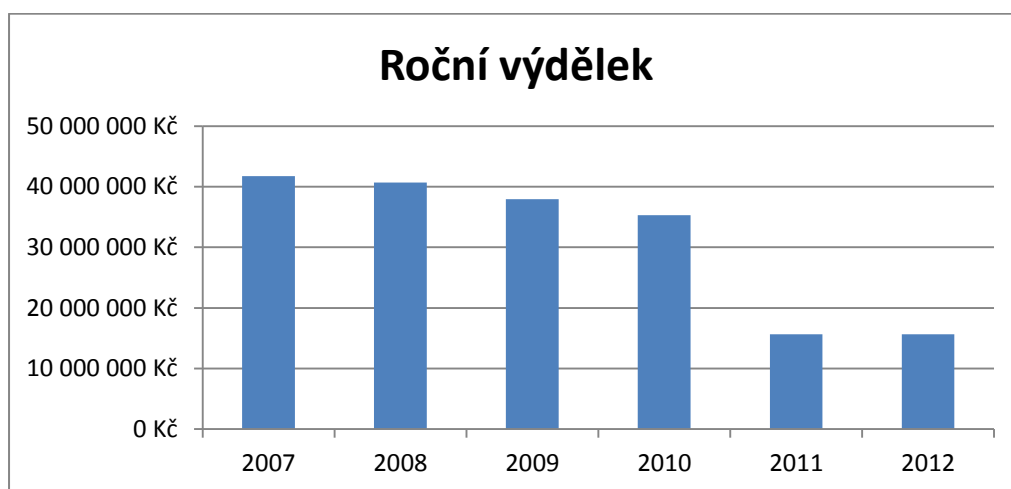
$h$  – počet hodin za rok

## 8. Ekonomické a environmentální zhodnocení projektu

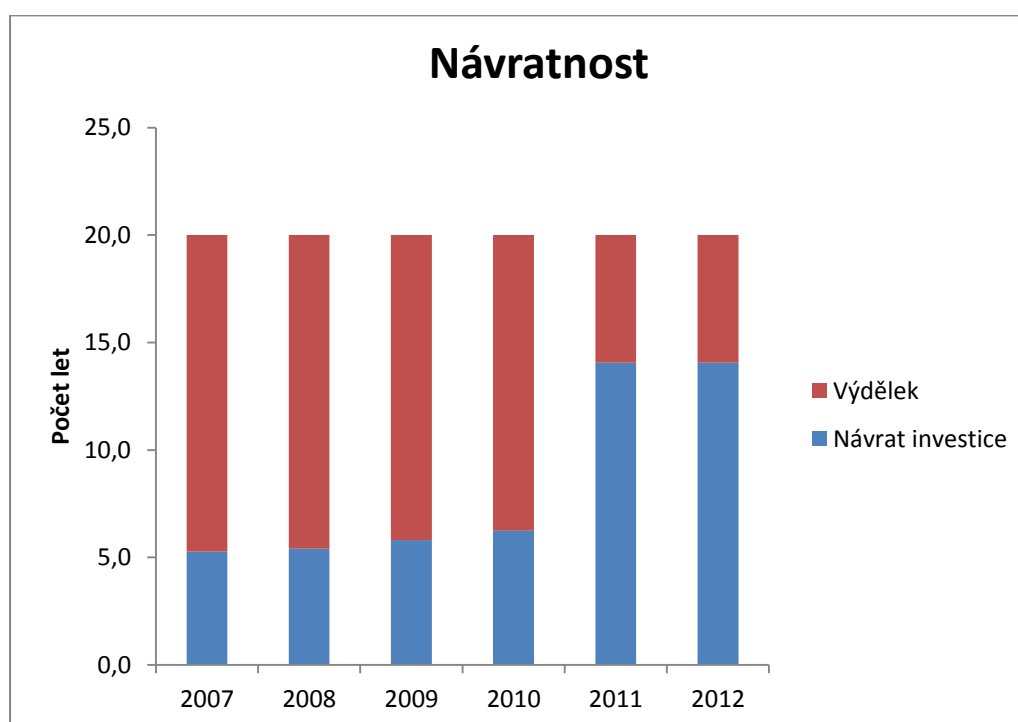
### 8.1. Ekonomické zhodnocení

Celková cena toho projektu je odhadem stanovena na 220 mil. Kč. Tato částka je opravdu jen přibližná, bohužel se mi nepodařilo zjistit, v jaké ceně se pohybují konstrukce, na které jsou panely pokládány. Dále také výkopové práce pro vedení kabelů.

Chtěl bych v následujících grafech objasnit rozdíly v letech 2010 a 2012 (Graf 8.1) tzn., kdy výkupní cena byla za vyrobenou energii skoro dvojnásobná. Dále také nastínit návratnost (Graf 8.2) FV elektrárny a kolik nám zhruba taková elektrárna dokáže za dobu své provozuschopnosti vydělat.



Graf 8.1 Roční výdělek



Graf 8.2 Návratnost

Pro upřesnění návratnosti a také tedy celkového výdělku přikládám ještě tabulku s přesnými čísly (Tab. 8.1).

Rok	Návrat investice	Výdělek	
	[roky]	[Kč]	
2007	5,3	14,7	614 768 000,0
2008	5,4	14,6	594 122 000,0
2009	5,8	14,2	538 322 000,0
2010	6,2	13,8	485 870 000,0
2011	14,1	5,9	93 038 000,0
2012	14,1	5,9	93 038 000,0

**Tab. 8.1 Celkový výdělek**

V tabulce vidíme markantní rozdíl mezi rokem 2010 a 2011, kdy se rozdíl pohybuje v řádu stovek milionů a to už nejsou zanedbatelné částky. Proto byli veškeré velké FV elektrárny v ČR dostaveny právě před koncem tohoto roku a tím si zajistili velice dobrou návratnost a následně samozřejmě také výdělek.

## **8.2. Environmentální zhodnocení**

Zde bych rád také zohlednil vliv této stavby na přírodu. Pokud se podíváme na stav v ČR, tak většina těchto elektráren je stavěna na úrodných půdách, s čímž také spousta lidí nesouhlasí a kvůli tomu FV elektrárny odsuzuje a jelikož u nás v již zmiňovaném roce 2010 nastal obrovským boom, tak těchto míst není opravdu málo.

Dalším vlivem, který je potřeba vzít na povědomí, je určité začlenění do krajiny. Samozřejmě je tahle věc posuzovaná již při samotném návrhu, ale ve skutečnosti to vypadá tak, že dříve krásy např. jižní Moravy, zahrnovali především vinohrady, krásná zeleň a porosty, do kterých byly vměstnány tyto FV elektrárny a i na tohle okolí nereaguje přívětivě.

Problém, který je také velice diskutabilní, je samotná životnost FV elektrárny a hlavně její následná recyklace. Moduly i po 20 letech by měly být stále funkční, avšak jejich účinnost může klesnout o 20% a více, nicméně FV elektrárna jako celek by měla být schopna vydržet třeba i 40 let. Samozřejmě nastane doba, kdy bude třeba tyto moduly recyklovat. Již při nákupu FV modulů platíme dané firmě recyklační poplatek, takže sama firma, která nám panely prodala, by měla zajistit také jejich likvidaci. Ovšem jak to všechno bude, se pořádně ještě neví. Vše se bude řešit, až tato situace nastane a to bude nejdříve za 20 let.

Na druhou stranu, je nutné zmínit, že při výrobě elektřiny z jiných než OZE, vypouštíme do ovzduší určité množství emisí a při provozu této FV elektrárny nikoliv. V tabulce Tab. 8.2 jsou uvedeny emisní faktory pro systémovou elektřinu (kg/GJ).

Typ zdroje emisi	TL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Org. látky*	CO <sub>2</sub>	Zdroj dat
elektřina - systémové zdroje (včetně jaderných a vodních)	0.02591	0.489376	0.415698	0.0393	0.03086	325	Zdroj: SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , - Schválený scénář Státní energetické koncepce z roku 2004, emisní faktory pro rok 2005 (po uvedení Temelína do provozu, scénář je zpracován po 5 letech), TL, CO, org. látky - Katalog opatření pro snížení energetické náročnosti (propočty SRC International CS, s.r.o. na základě REZZO 1999); CO <sub>2</sub> - vyhl. č. 425/2004 Sb.

**Tab. 8.2 Emisní faktory pro systémovou elektřinu (kg/GJ) [21]**

Tato FV elektrárna za rok vyprodukuje 2 790 000 kWh, tuto hodnotu si převedeme na GJ.

$$GJ = 2\,790\,000 \cdot \frac{3\,600}{1\,000\,000} = \mathbf{10\,044}$$

V následující tabulce Tab. 8.3 vidíme, jaké množství emisí jsme schopni za rok ušetřit provozem naší FV elektrárny.

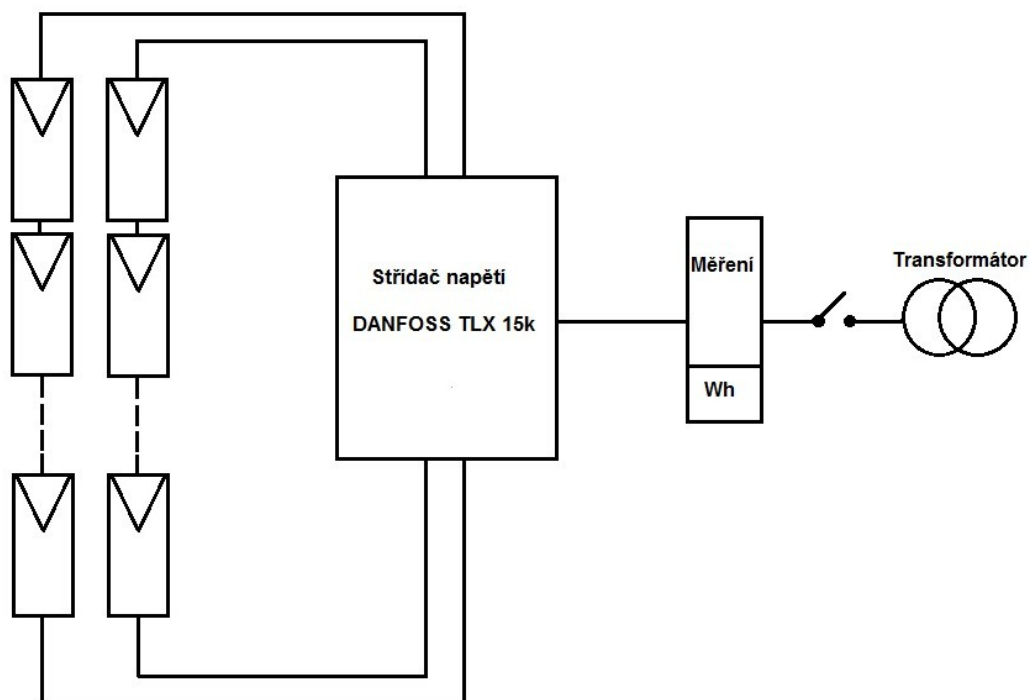
	TL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	Org.látky
<b>m [kg]</b>	260,24	4 915,29	4 175,27	394,73	309,96	3 264 300,00

**Tab. 8.3 Množství emisí za rok**



## 9. Schéma zapojení

Na Obr. 9.1 je znázorněno zapojení 70 modulů do jednoho střídače. Každých 35 modulů je zapojeno v jednom stringu (obvodu) a do každého střídače vedou 2 stringy. Mezi samotnými panely a transformátorem se setkáváme s řadou ochranných prvků, jako jsou ochrany přepětí, odpínače apod.



Obr. 9.1 Schéma zapojení do jednoho střídače

## **Závěr**

V této práci jsem se snažil jednoduše popsat to, jak vlastně fotovoltaické panely fungují a jakým způsobem získávají sluneční energii. Setkáváme se zde s různými možnostmi využití fotovoltaických panelů, ať už se jedná o různé malé aplikace, se kterými se setkáváme denně, tak také systémy pro domácnosti, které mohou být také s akumulací elektrické energie, pokud je to zapotřebí. Dále také systémy, které jsou schopny dosáhnout výkonu v jednotkách MW. V tomto případě se již jedná o velké elektrárny, se kterými se v dnešní době setkáváme stále častěji.

Seznámili jsme se také s aktuálním stavem v ČR. Stop stav byl zrušen, nicméně v praxi to probíhá trochu jinak a žádosti o malé FV elektrárny do 30 kW jsou posuzovány individuálně. Na příkladu jsme si uvedli vývoj výkupních cen od roku 2006 až po rok 2012 a také velký rozdíl, mezi cenami, mezi rokem 2010 – 2011.

Hlavním bodem bylo navržení FV elektrárny o výkonu 3 MW<sub>p</sub>. Jsou zde zmíněny body, které je nutno vyřídit před samotnou výstavbou a podmínky, kterých je třeba se držet, aby měla FV elektrárna daný výkon. Je to např. výpočet vzdálenosti mezi jednotlivými řadami, aby v zimních měsících nedošlo k zastínění řad a s tím nedošlo ke ztrátám. Velký vliv hrají samozřejmě klimatické podmínky a to nejen množství slunečního svitu, ale také vítr a sníh. V následném vyhodnocení jsem získal představu o výnosnosti takových elektráren a také jejich návratnost, zvláště do roku 2010, kdy podmínky pro výstavbu byli velice vhodné a dle uvedeného seznamu největších FV elektráren v ČR můžeme vidět, že toho distributoři využili ve velkém množství.

Dále jsou v práci, dle emisních faktorů pro systémovou elektřinu, určena množství emisí, které nevypouštíme do ovzduší díky tomu, že produkujeme elektřinu z OZE a tím také ušetříme ŽP, nicméně je zase potřeba zmínit fakt, že spousta těchto FVE byla vystavěna na kvalitních orných půdách.

## Seznam použité literatury

- [1] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. 1. vyd. Praha: T. Malina, 1994, 203 s. ISBN 80-900-7595-9
- [2] HALAHYJA, Martin. *Solárna energia a jej využitie*. 1. vyd. Bratislava: Západoslvenské tlačiarne, 1983, 203 s.
- [3] KAMINSKÝ, Jaroslav a Mojmír VRTEK. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 1998, 96 s. ISBN 80-707-8445-8.
- [4] TURNER, Wayne C a Steve DOTY. *Energy management handbook*. 6th ed. Boca Raton, FL: Distributed by CRC Press/Taylor, c2007, 909 s. ISBN 978-088-1735-437.
- [5] ISolar. *ISolar* [online]. 2009 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: [http://www.isolar.cz/technologie.html#strucny\\_generacni\\_vyvoj](http://www.isolar.cz/technologie.html#strucny_generacni_vyvoj)
- [6] ISolar. *ISolar* [online]. 2009 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: [http://www.isolar.cz/technologie.html#fotovoltaiicke\\_systemy](http://www.isolar.cz/technologie.html#fotovoltaiicke_systemy)
- [7] BERANOVSKÝ, Jiří. EkoWAT. *EkoWAT* [online]. 2007 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: [http://www.isolar.cz/technologie.html#fotovoltaiicke\\_systemy](http://www.isolar.cz/technologie.html#fotovoltaiicke_systemy)
- [8] HRADECKÝ, Aleš. Solaris Invest. *Solaris Invest* [online]. 2009 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.solarinvest.cz/konzultace/59-stop-stav-ukonen>
- [9] Wikipedia. *Wikipedia* [online]. 2009 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaiika>
- [10] Czech RE Agency. *Czech RE Agency* [online]. 2003 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaiika>
- [11] Czech RE Agency. *Energo THERM* [online]. 2010 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.energotherm.cz/uvod-do-fotovoltaiiky/fotovoltaiika-v-r>
- [12] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [13] [http://www.ekowatt.cz/uspory/img/uvod/slunce-elektrina\\_02.jpg](http://www.ekowatt.cz/uspory/img/uvod/slunce-elektrina_02.jpg)
- [14] [http://solar.terms.eu/images/panasonic\\_7.jpg](http://solar.terms.eu/images/panasonic_7.jpg)
- [15] [http://www.pairan.com/uploads/pics/startseite\\_2\\_01.jpg](http://www.pairan.com/uploads/pics/startseite_2_01.jpg)
- [16] <http://tf.czu.cz/~libra/tra-spa.jpg>
- [17] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam\\_nejv%C4%9Bt%C5%A1%C3%ADch\\_fotovoltaiick%C3%BDch\\_elektr%C3%A1ren\\_v\\_%C4%8Cesku](http://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_nejv%C4%9Bt%C5%A1%C3%ADch_fotovoltaiick%C3%BDch_elektr%C3%A1ren_v_%C4%8Cesku)
- [18] <http://garazove-stani.cz/images/snehove-oblasti.jpg>
- [19] <http://www.ufa.cas.cz/html/dllouka/info/vav/priloha09.jpg>
- [20] <http://fotovoltaiicke-elektrarny.arsolar.cz/upload/128.jpg>
- [21] [http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/vrt/AOZE/ZZZ\\_Dipl\\_ENV/EmiseSFZP.doc](http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/vrt/AOZE/ZZZ_Dipl_ENV/EmiseSFZP.doc)

## Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obr. 1.1 Tepelná bilance země [3] .....	10
Obr. 2.1 Princip činnosti solárního článku [13] .....	14
Obr. 2.2 Oboustranný modul [14] .....	15
Obr. 2.3 Dvouosý polohovací systém [15] .....	16
Obr. 2.4 Koncentrátor [16] .....	16
Obr. 3.1 Schéma systému Grid – on [6] .....	18
Obr. 3.2 Schéma systému Grid – off [6] .....	19
Obr. 4.1 FVE Mimoň Ra 3 .....	23
Obr. 4.2 FVE Mimoň Ra 3 .....	23
Obr. 5.1 Zatížení sněhem v ČR [18] .....	25
Obr. 5.2 Zatížení ČR větrem [19] .....	26
Obr. 5.3 Jednořadá konstrukce .....	27
Obr. 5.4 Dvouřadá konstrukce .....	28
Obr. 6.1 Závislost energetického zisku na orientaci a náklonu FV modulů [20] .....	29
Obr. 6.2 Zastínění dalších řad FV elektrárny .....	32
Obr. 6.3 Střídač napětí Danfoss TLX 15k .....	34
Obr. 9.1 Schéma zapojení do jednoho střídače .....	41
Tab. 1.1 Průměrné hodnoty součinitele znečištění [1] .....	12
Tab. 4.1 Největší FV elektrárny v ČR [17] .....	22
Tab. 7.1 Energetický zisk za jednotlivé měsíce .....	35
Tab. 8.1 Celkový výdělek .....	39
Tab. 8.2 Emisní faktory pro systémovou elektřinu (kg/GJ) [21] .....	40
Tab. 8.3 Množství emisí za rok .....	40
Graf 4.1 Roční výdělek .....	21
Graf 7.1 Množství elektřiny v kWh za měsíc .....	36
Graf 7.2 Množství elektřiny v kWh/m <sup>2</sup> za měsíc .....	36
Graf 8.1 Roční výdělek .....	38
Graf 8.2 Návratnost .....	38

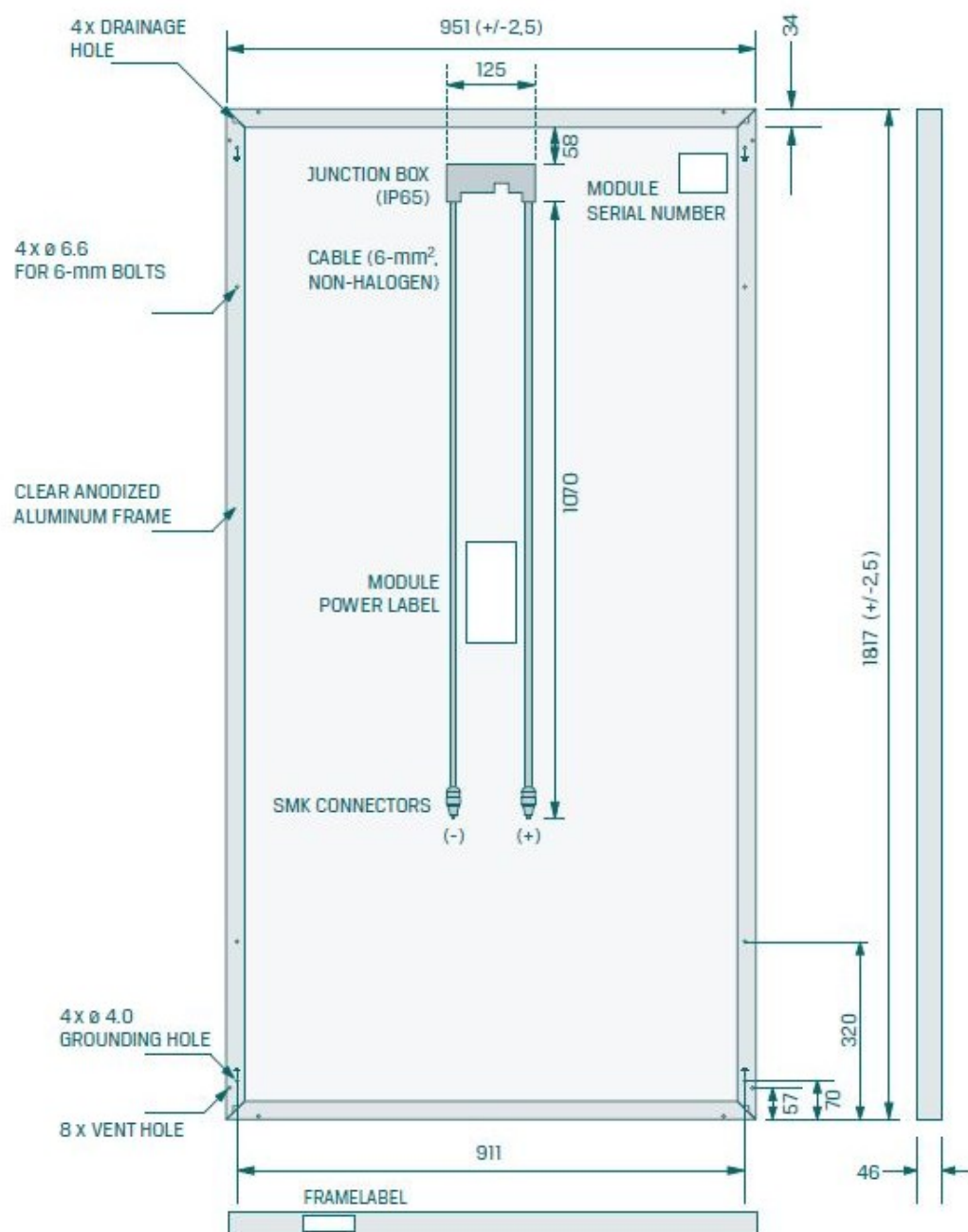
## **Seznam příloh**

Příloha č.1 – Mechanické vlastnosti modulu

Příloha č.2 – Hodnoty z testu za standardních podmínek (SV–L 230)

Příloha č.3 – Fotografie z Itálie, nadměrné zatížení konstrukce sněhem

## Mechanical Specifications



All dimensions in mm; module weight 20.1 kg.

## Příloha č.2

### Standard Test Conditions (STC)<sup>1</sup>

		SV-L-225	SV-L-230	SV-L-235	SV-L-240
		Low Voltage Configuration			
Nominal Power <sup>2</sup>	W	225	230	235	240
Output Tolerance	W	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
P <sub>mpp</sub> <sup>3</sup> , max	W	229.9	234.9	239.9	244.9
P <sub>mpp</sub> <sup>3</sup> , min	W	225.0	230.0	235.0	240.0
Module Efficiency	%	13.2	13.5	13.7	14.0
U <sub>mpp</sub> <sup>3</sup>	V	20.3	20.4	20.5	20.5
I <sub>mpp</sub> <sup>3</sup>	A	11.18	11.39	11.60	11.81
U <sub>oc</sub> <sup>3</sup>	V	25.4	25.5	25.7	25.8
I <sub>sc</sub> <sup>3</sup>	A	11.90	12.05	12.19	12.33

### Nominal Operating Cells Temperature Conditions (NOCT)<sup>4</sup>

T NOCT	°C	45.2	45.2	45.2	45.2
P <sub>max</sub>	W	166.2	169.9	173.5	177.2
U <sub>mpp</sub>	V	18.6	18.7	18.7	18.8
I <sub>mpp</sub>	A	8.92	9.08	9.25	9.42
U <sub>oc</sub>	V	23.5	23.6	23.7	23.8
I <sub>sc</sub>	A	9.65	9.76	9.88	10.00



